

ELECTRONIC INTERFERENCE MEASURING DEVICE

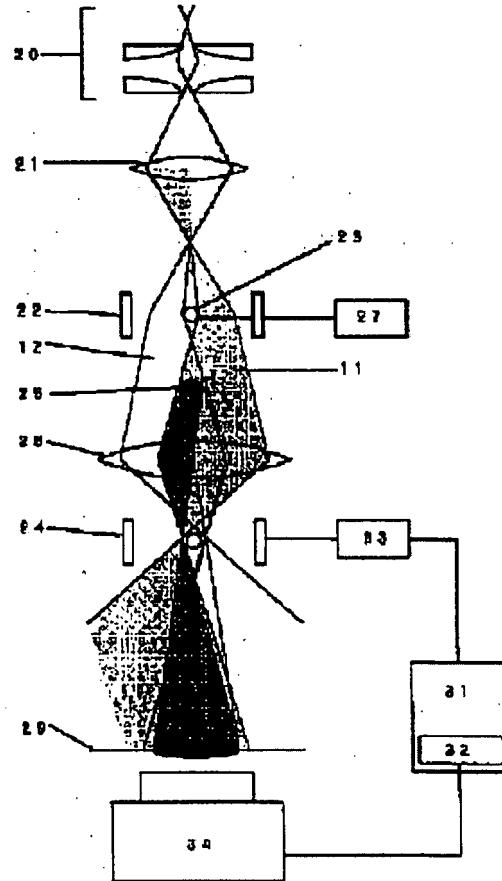
Patent number: JP10199464
Publication date: 1998-07-31
Inventor: ENDO JUNJI; OSAGABE NOBUYUKI
Applicant: HITACHI LTD
Classification:
- International: H01J37/26; H01J37/295; H01J37/26; (IPC1-7): H01J37/26;
H01J37/295
- european:
Application number: JP19970006117 19970117
Priority number(s): JP19970006117 19970117

[Report a data error here](#)

Abstract of JP10199464

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electronic interference measuring device which can measure an unmeasurable sample with high accuracy even under an measurable condition.

SOLUTION: An electron beam biprism 22 is arranged between an inspection object sample 25 of an electron microscope or a similar device and an irradiating lens 21, and the same part of the inspection object sample 25 is irradiated by electron beams 11 and 12 divided into two pieces. This sample image is defocused in either direction on an observing surface 29, or lateral dislocation is caused by using a second electron beam biprism 24 arranged between the inspection object sample and the observing surface, and a shearing interference diagram is formed. A first or second electron beam biprism is slowly moved in a step shape so that an interference fringe shifts $1/M$ by $1/M$ of its interval, and an interference diagram is taken in a calculator 31 every its step, and the phase distribution of the electron beams passing through a sample inspection object part is calculated from interference diagrams of M sheets in total.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-199464

(43)公開日 平成10年(1998)7月31日

(51)Int.Cl.⁶

H 01 J 37/26
37/295

識別記号

F I

H 01 J 37/26
37/295

審査請求 未請求 請求項の数4・OL (全7頁)

(21)出願番号 特願平9-6117

(22)出願日 平成9年(1997)1月17日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 遠藤 潤二

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会
社日立製作所基礎研究所内

(72)発明者 長我部 信行

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会
社日立製作所基礎研究所内

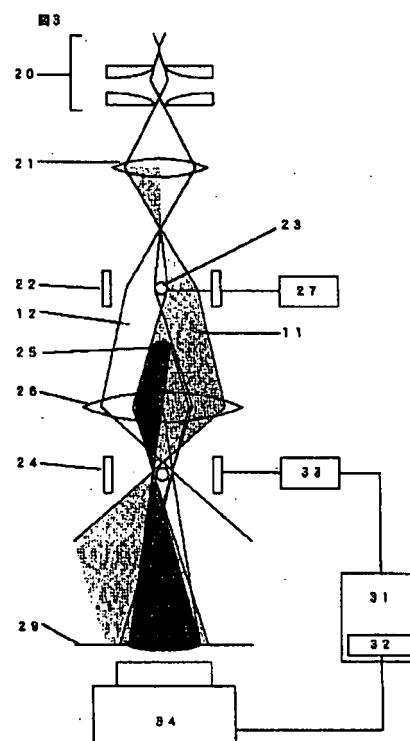
(74)代理人 弁理士 小川 勝男

(54)【発明の名称】電子干渉計測装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 従来法では計測が困難であった試料や条件の
下でも高い精度で計測ができる電子干渉計測装置を提供
する。

【解決手段】 電子顕微鏡または類似装置の被検試料2
5と照射レンズ21の間に電子線バイプリズム22を配
し、2本に分割された電子線11および12で被検試料
25の同一部分を照射する。この試料像を観察面29上
でいずれかの方向にデフォーカスするか被検試料と観察
面の間に配された第2の電子線バイプリズム24を用い
て横ずれを生じせしめ、シアリング干渉図形を形成す
る。第1もしくは第2の電子線バイプリズムを干渉縞が
その間隔の $1/M$ ずつシフトするようにステップ的に微
動させるとともに、そのステップごとに干渉図形を計算
装置31に取り込み、計M枚の干渉図形から試料被検部
を透過した電子線の位相分布を計算する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】電子線源と、1つ以上の照射レンズと、被検試料と、電子線源と被検試料の間に設置された電子ビームスプリッタと、1つ以上の結像レンズとからなり、上記電子ビームスプリッタによって分割された2本の電子線が被検試料の同一部を異なる方向から照射して一対の被検試料像を形成し、観察面において該被検試料像対をわずかな横ずらしをもって重ねることを特徴とする電子干渉計測装置。

【請求項2】電子線源と、1つ以上の照射レンズと、被検試料と、電子線源と被検試料の間に設置された電子ビームスプリッタと、1つ以上の結像レンズと、観察面における撮像装置と、該撮像装置からの画像を解析する計算装置とからなり、上記電子ビームスプリッタによって分割された2本の電子線が被検試料の同一部を異なる方向から照射して一対の被検試料像を形成し、観察面において該被検試料像対をわずかな横ずらしをもって重ね、かつ観察面において干渉図形の干渉縞がそれ自身と直交する方向に微動するごとく上記2本の電子線を制御する機構を有し、縞移動量の異なる複数枚の干渉図形を用いて計算装置によって被検試料の干渉計測を行うことを特徴とする電子干渉計測装置。

【請求項3】被検試料と観察面との間に、第2の電子ビームスプリッタを備えたことを特徴とする請求項1あるいは請求項2に記載の電子干渉計測装置。

【請求項4】2本の電子線を制御する機構が、2本の電子線によって決められる平面に平行かつ電子光学軸に直交する方向に電子ビームスプリッタもしくはその一部を微動させる機構であることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の電子干渉計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子顕微鏡もしくはその類似装置を用いて被検試料を透過した電子線の位相分布から被検試料の構造や電磁気的な性質を計測するいわゆる電子干渉計測装置に係り、特に位相の変化が大きい場合あるいは基準となる参照電子線の確保が困難な場合に好適な電子干渉計測装置に関する。

【0002】

【従来の技術】電子干渉計測の最も基本的な方法は、ジャーナル・オブ・エレクトロン・マイクロスコピ－誌第33巻第2号 (Journal of Electron Microscopy, Vol. 33, No.2) (1984) 101ページ～115ページの論文の図5および図9に記載されている。まず図5のように、試料面の片側に試料を配置し、対物レンズの下方に設置された電子ビームスプリッタ（ここでは電子線バイプリズム）を用いて、試料を透過して変化を受けた電子線と変化を受けない電子線とを対物レンズの像面上で重ね合わせて干渉図形を形成し、それをさらに拡大レンズで拡大して写真フィルムに記録する。これがホログラ

ムである。次に図9にあるように、ホログラムをレーザ干渉計の中に設置し、ホログラムに記録された試料透過電子線の位相分布を、レーザ光の干渉图形として観察する。

【0003】また、別の基本的なホログラフィ法の例は、ウルトラマイクロスコピ－誌第53巻 (1994) 1ページ～7ページの論文に見られる。図1はホログラム作成法を示したもので、電子波が結晶薄膜に入射すると透過波の他に回折波が生じることを利用している。試料の直上に結晶薄膜を置き、焦点を結晶薄膜付近に合わせると、結晶薄膜の1点から出た透過波と回折波のうち、一方（たとえば透過波）が試料を透過し他方（回折波）は試料外を通して観察面で重なるため、ホログラムが形成される。この場合、逆の組み合わせ、すなわち回折波が試料を透過し、透過波が試料外を通る組み合わせも存在するため、ホログラムは一対になる。像再生は、2つのホログラムのいずれかを選べばよい。

【0004】本発明に最も近い従来の技術は、アプライド・フィジックス・レターズ誌第59巻第19号 (1991) 2372ページ～2374ページ (Applied Physics Letters, Vol. 59, No. 19 (1991) 2372～2374) 記載のように、上述した基本的な方法に、レーザ光学分野で開発された縞走査干渉法を組み入れたものである。すなわち同論文図1に記載の様に、被検試料と観察面の間に電子線バイプリズムを配置し、2373ページ13行目～25行目に記述されているごとく、被検試料に入射する電子ビームの傾きを干渉縞が直交する方向にシフトする方向にN段階ステップ的に変化させ、ステップごとの干渉図形から被検試料を透過した電子線の位相分布および振幅分布を計算により求めている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記した電子線ホログラフィの基本的な方法に縞走査干渉法を組み合わせた従来技術は、被検試料を透過した電子線の位相分布を高精度に計測することができ、原理的には非常に優れた手法である。ところが、実用面ではいくつかの問題がある。その第1は、基準となる参照電子線（上記文献図1の試料面で、電子光学軸の左側を通過する電子線）が必要であること、第2に厳密に試料面を支点として入射角を変えることは実用上困難が伴い、被検試料や計測条件によっては入射角の変化により回折条件がかわってしまうこと、第3に被検試料による電子線の位相分布が大きすぎることに対応できること、などである。

【0006】本発明は、従来法では計測が困難であった試料や条件の下でも高い精度で計測ができる電子干渉計測装置を提供するものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】上述した従来技術の問題点を解決するために、電子線の分野でいわゆるシアリング干渉法を実現するのが本発明の主眼である。光学の分

野では既に周知のようにシアリング干渉法がレンズなど
の光学部品の検査に応用されている。これは、被検物体
に2本のビームを照射し、同じ位相変化を受けた2本の
ビームの間にわずかな横ずらしを加えることによって両
者の差を検出するという方法である。このため、位相変
化が大きくても、横ずらし量の調節によって対応するこ
とができる。

【0008】これを電子線で行うために、電子線源と試
料の間に電子ビームスプリッタを配置し、2本に分けた
電子ビームが被検試料の同一箇所を照射するように電子
ビームスプリッタと照射レンズ系を調整する。この電子
ビームスプリッタと試料の配置は、上述した第2の基本
的なホログラフィ法の例と類似しているが、考え方と干
渉方法が全く異なる。例では、試料透過波に参照平面波
を重ねることを目的としており、2つの干渉像が形成さ
れるのは副次的な結果である。これに対して本考案で
は、像（干渉像ではない）が2つあることが不可欠な要
因である。観察面では、同じ位相分布の2つの波面が互
いに傾きをもって重なって干渉図形を形成している。そ
こで、焦点をずらすか別の方法でこの両者に横ずらしを
加えると、シアリング干渉の条件が満たされる。ところ
が電子線の場合、これだけでは実用性に優れたシアリン
グ干渉法を実現することは難しい。物体による電子線の
位相変化は一般に極めて小さく1波長のオーダーである
ため、通常の方法では両者の位相の差が小さすぎて検出
できない、あるいは精度がでないという問題が生じるか
らである。そこで、位相変化が小さい場合には、縞走査
干渉法を併用する。これにより、位相変化が大きい場合
でも、また小さい場合でも、参照電子線を必要としない
干渉法を実現することができる。

【0009】本発明は、この干渉法の基本的な構成、縞
走査法を組み合わせた構成、任意の横ずらしを与えるた
めの第2の電子ビームスプリッタを加えた構成、縞走査
法を行うときに電子ビームスプリッタを微動させて干渉

$$I(x,y) = e^{i[kx + \phi(x + \Delta x, y)]} + e^{-i[kx - \phi(x - \Delta x, y)]}$$

$$= 2 + 2\cos[2kx + \phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y)] \quad (数5)$$

【0020】となる。もし、横ずらし量が十分小さけれ
ば、

$$\frac{\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y)}{2\Delta x} = \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x} \quad (数6)$$

【0022】であるから、

【0023】

$$I(x, y) = 2 + 2\cos[2kx + 2\Delta x \cdot \partial \phi(x, y) / \partial x] \quad (数7)$$

【0024】となる。従って、干渉図形を計測して

【0025】

条件を変化させる構成を規定している。

【0010】

【発明の実施の形態】図4に示したように、2本の電子
ビームが電子光学軸から左右に±θずつ傾いて被検試料
の同一部を照射し、ふたたび±θの角度をもって重な
り、強度分布 I (x, y) の干渉縞が形成されたとする。
簡単のために、いずれも振幅 "1" の平面波である
とすれば、それぞれの電子ビームは

【0011】

【数1】

$$e^{ikx} \quad (数1)$$

【0012】および

【0013】

【数2】

$$e^{-ikx} \quad (数2)$$

【0014】（ただし、 $k = \sin \theta / \lambda$ 、 λ ：電子の波長）
で表される。この2本の電子ビームが試料を透過すること
によって、 $\phi(x, y)$ の位相変化を受けたとすれば、試
料透過後の波面はそれぞれ、

【0015】

【数3】

$$e^{i[kx + \phi(x, y)]} \quad (数3)$$

【0016】および

【0017】

【数4】

$$e^{-i[kx - \phi(x, y)]} \quad (数4)$$

【0018】となる。観察面で、この2本にデフォーカス
あるいは電子ビームスプリッタなどでそれに横ず
らし+△xおよび-△xを加えて干渉させると、干渉縞の
強度分布は、

【0019】

【数5】

【数5】

【0021】

【数6】

$$\frac{\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y)}{2\Delta x} = \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x} \quad (数6)$$

【数7】

【数8】

$$\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y) = 2\Delta x \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x} \quad (\text{数8})$$

【0026】の部分を求めて積分すれば、位相分布 $\phi(x, y)$ を求めることができる。

【0027】次に、このシアリング干渉法に縞走査法を応用した場合を説明する。縞走査の与え方によりやや取り扱いが異なるが、ここでは代表例として、電子線バイプリズムを微動して2本の電子線の間に位相差を与える縞走査法を取り上げて説明する。この方法では、一方の電子ビームに $\Delta\phi$ の位相ずれを与えると、他方の位相ずれは $-\Delta\phi$ である。従って干渉図形上で干渉縞を1間隔

$$I(x, y; m) = |e^{i[\phi(x + \Delta x, y) + \frac{2m\pi}{M}]} + e^{i[\phi(x - \Delta x, y) + \frac{2m\pi}{M}]}|^2 \\ = 2 + e^{i[2kx + \frac{2m\pi}{M}]} e^{i[(\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y))]} + e^{-i[2kx + \frac{2m\pi}{M}]} e^{-i[(\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y))]} \quad (\text{数9})$$

【0029】で与えられる。この干渉縞の強度分布から、今求めようとしている

$$\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y)$$

【0031】を分離するために(数9)に離散的フーリエ変換を施すと、正の基本周波数成分は、

$$F(x, y; 1) = \sum_{m=0}^{M-1} I(x, y; m) e^{-i \frac{2m\pi}{M}} \quad (\text{数11}) \\ = M e^{2ikx} e^{i(\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y))}$$

【0033】となる。(数11)中の

【0034】

$$e^{2ikx}$$

【0035】の項は、干渉する2本の電子線が傾いていることによる、すなわちホログラムの基本干渉縞であるから容易に取り除くことができる。また同様に $\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y)$

$$\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y) = \tan^{-1} \frac{\text{Im}[F(x, y; 1)]}{\text{Re}[F(x, y; 1)]}$$

$$= \tan^{-1} \frac{\text{Im} \left[\sum_{m=0}^{M-1} I(x, y; m) \sin \left(\frac{2m\pi}{M} \right) \right]}{\text{Re} \left[\sum_{m=0}^{M-1} I(x, y; m) \cos \left(\frac{2m\pi}{M} \right) \right]} \quad (\text{数13})$$

【0037】から求めることができる。すなわち、電子線の波長の $2M$ 分の 1 ずつ電子線の位相が変わるように ($M-1$) 回電子線バイプリズムをシフトし、その都度計算装置に取り込んだ M 枚の干渉図形を用いて、1画素ずつ(数13)で計算して $\phi(x + \Delta x, y) - \phi(x - \Delta x, y)$ の分布を求めれば、(数8)により被検試料を透過した電子線の位相分布を横ずらしした方向に微分した成分が得られるので、これを積分すれば位相分布 $\phi(x, y)$ が得られる。

分シフトさせるためには、それぞれの電子ビームに波長の 2 分の 1 の位相ずれを与える。そこで、電子線 1 波長を $2M$ 等分した量ずつ電子線の位相がシフトするように、電子線バイプリズムを中心のワイヤ電極に直交する方向にステップ的に微動させると、 m 番目の干渉図形の強度分布は、

【0028】

【数9】

【0030】

【数10】

(数10)

【0032】

【数11】

【数12】

(数12)

$x, y) - \phi(x + \Delta x, y)$ の項は、

【0036】

【数13】

【0038】ここでは、2本の電子線の間に位相差を生じせしめるために、電子線バイプリズムを微動させる方法について説明した。他に電子線バイプリズムに印加する電圧を変える方法、試料を微動させる方法、試料に入射する電子線の傾きを変化させる方法、いわゆるアハラノフ・ボーム効果を利用する方法などがあるが、いずれもシアリング干渉法と組み合わせができる。

【0039】以下、本発明の一実施例を図1により説明する。これは、電子顕微鏡またはその類似装置に小改良

を加えた電子干渉計測装置の模式図で、特徴は照射レンズ21と被検試料25の間に電子ビームスプリッタとして電子線バイプリズム22を備えていることである。簡単のため、電子線源、電子レンズなどの電源類は図示していない。電子線源20から所定のエネルギーで放射された電子線10は、照射レンズ21によって、電子ビームスプリッタ22の上にスポットを形成する。電子ビームスプリッタ22の中心電極23には、直流電圧電源27によって正の100V程度の電圧が印加されているため、その両側を通る電子線10はこの電界に引き寄せられて、電子線11と電子線12の2本に分割される。従って、被検試料25は電子線軸から左右に傾いた2本の電子線11と12によって照射される。区別を明確にするため、電子線11とその試料透過成分にハーフトーンを施した。被検試料は、結像レンズ26によって正焦点面28上に正焦点で結像される。ここでは、電子線11と電子線12による像が重なるので、シアリング干渉にはならない。観察面29は正焦点面28から離れているので、この面上では電子線11と電子線12による2つの像の間に横ずれが生じ、シアリング干渉が実現されている。この図で、照射レンズ21および結像レンズ26は複数であってもよく、また一般に観察面29は図示していない別の結像レンズ系でさらに拡大されることはないまでもない。また、正焦点面28が観察面29の下側にくるような結像条件であっても全く同様である。

【0040】本発明の第2の実施例を図2に示す。この実施例には、シアリング干渉法に、電子線バイプリズムを動かすことによって縞走査干渉法を併用するための装置構成を示した。第1の実施例との違いは、電子顕微鏡に撮像装置34、撮像装置からの画像を記憶する画像メモリ32を有する計算装置31および電子線バイプリズムを中心電極と電子光学軸両者に直交する方向に微動する機構33を設けたことである。第1の実施例と同様に横ずれを与えた干渉图形を観察面上に形成し、撮像装置34を用いて干渉图形を画像メモリに記憶させる。次に、干渉縞が $1/M$ 間隔分シフトするように電子線バイプリズムを予め決められた距離だけ微動させ、干渉图形を画像メモリに記憶させる。こうして、干渉縞が $1/M$ 間隔ずつシフトしたM枚の干渉图形を蓄積し、上述した方法で試料透過電子線の位相分布を計算する。測定精度は、位相変化させる精度、すなわち電子線バイプリズムの微動精度に大きく依存するので、電子線バイプリズムの微動量や、画像の取り込みのタイミングなどを計算装置によって制御することが望ましい。

【0041】第3の実施例を図3に示す。本実施例は、第2の実施例に、さらに電子線バイプリズム24を被検試料25と観察面29の間に追加したものである。この

ため、第1および第2の実施例では横ずれを加えるためにフォーカスをずらす必要があったが、本実施例では電子線バイプリズム24に直流電圧電源（図示していない）を用いて正または負の電圧を加えることによって正焦点のままで横ずらしさせることができる。従って、観察面29は正焦点面でもある。この場合にも、第2の実施例で説明したと同様に縞走査干渉法を行うのであるが、電子線バイプリズム22と24のいずれを微動させても原理的には全く同じである。

【0042】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明によれば、（1）電子線の分野において参照平面波が不要でかつ位相変化が大きいときにも対応が可能なシアリング干渉法が実現でき、（2）さらにこれに縞走査干渉法を組み合わせることによって微弱な位相変化にも対応できる電子干渉計測装置が実現できる。特に、電子線バイプリズムを中心電極と電子線軸の両者に直交する方向に微動する形式の縞走査干渉法を用いることによって、より広範囲な試料や計測条件に対応することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】ビームスプリッタに電子線バイプリズムを用いたシアリング干渉法の最も基本的な一実施例を示す図である。

【図2】シアリング干渉法に縞走査干渉法を組み合わせた、本発明の第2の実施例を示す図である。

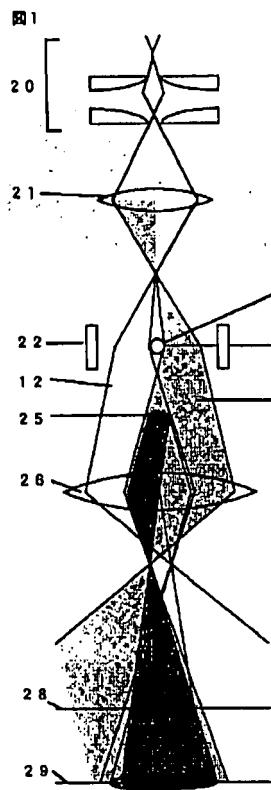
【図3】縞走査シアリング干渉法の横ずらしに第2の電子線バイプリズムを用いたもので、本発明の第3の実施例を示す図である。

【図4】シアリング干渉法の原理を説明するための模式図である。

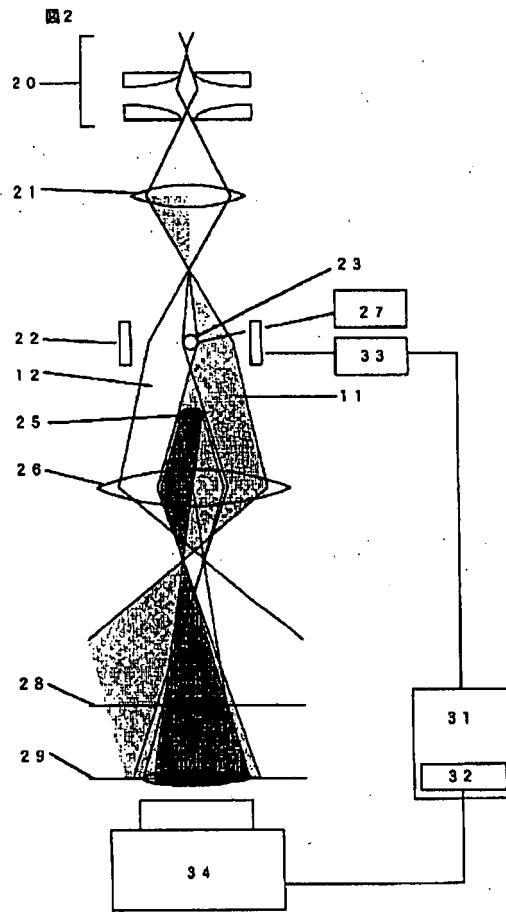
【符号の説明】

- 10 電子線
- 11 電子線
- 12 電子線
- 20 電子線源
- 21 照射レンズ
- 22 電子線バイプリズム
- 23 電子線バイプリズム中心電極
- 24 電子線バイプリズム
- 25 被検試料
- 26 結像レンズ
- 27 直流電圧印加装置
- 28 正焦点面
- 29 観察面
- 31 計算装置
- 32 画像メモリ
- 33 微動制御装置。

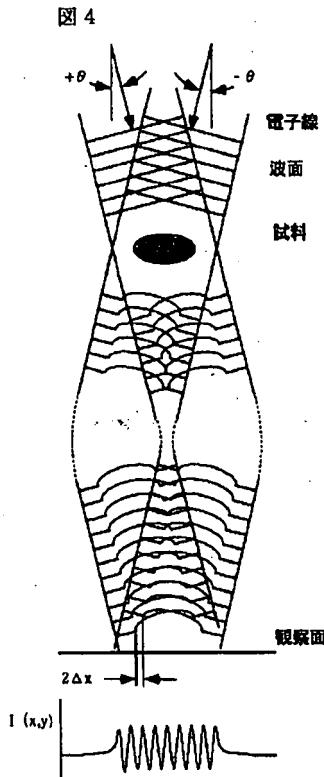
【図1】



【図2】



【図4】



【図3】

